

⑯ BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES

PATENTAMT

# ⑯ Offenlegungsschrift

⑯ DE 3346912 A1

⑯ Int. Cl. 3:

B23P 1/12

DE 3346912 A1

⑯ Unionspriorität: ⑯ ⑯ ⑯

24.12.82 SU 3550871

⑯ Anmelder:

Experimentalnyj Naučno-Issledovatelskij Institut  
Metallorežuščich Stankov, Moskva, SU

⑯ Vertreter:

Nix, A., Dipl.-Ing. Dr.jur., Pat.-Anw., 6200 Wiesbaden

⑯ Erfinder:

Levit, Maxim Lvovič; Voinov, Nikolai Vasilievič;  
Arnoldi, Nikolai Michailovič, Moskva, SU; Minakova,  
Rimma Valentinovna, Kiev, SU

⑯ Werkzeugelektrode zur elektroerosiven Bearbeitung und Verfahren zu deren Herstellung

Die erfindungsgemäße Werkzeugelektrode ist aus einem Material auf Kupferbasis hergestellt, das eine offene Porigkeit von 10 bis 15% und Porengrößen von 2 bis 10  $\mu\text{m}$  aufweist.

Das erfindungsgemäße Herstellungsverfahren für die genannte Werkzeugelektrode sieht einen Arbeitsgang der Pressung des Materials in einem Vakuum von  $10^{-2}$  bis  $10^{-4}$  Torr bei einer Temperatur von 650 bis 975°C unter einem Druck von 50 bis 110 kp/cm<sup>2</sup> vor.

Die vorgeschlagene Erfindung ist zweckmäßigerweise bei Nachform-Stoßräummaschinen zur elektroerosiven Bearbeitung von Hartlegierungen auf Basis von Wolfram- und Titankarben anzuwenden.

DE 3346912 A1

ORIGINAL INSPECTED

Experimentalny Nauchno-Issledovatel'sky Institut  
Metallloreshuschihi Stan'ov

WERKZEUGELEKTRODE ZUR ELEKTROEROSIVEN BEARBEITUNG  
UND VERFAHREN ZU DEREN HERSTELLUNG

P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Werkzeugelektrode zur elektroerosiven Bearbeitung aus einem porösen Werkstoff auf Kupferbasis, dadurch gekennzeichnet, daß der Stoff eine offene Porigkeit von 10 bis 15% und Größen der offenen Poren von 2 bis 10  $\mu\text{m}$  aufweist.

2. Werkzeugelektrode nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Stoff außer dem Kupfer fein verteilte Zugaben aus Metalloxiden in Verbindung mit Bor enthält.

3. Werkzeugelektrode nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Stoff als Metalloxid  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (Chromoxid) enthält.

4. Werkzeugelektrode nach den Ansprüchen 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Stoff (in Gew.-%) enthält:

Chromoxid ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) .....	2 bis 10
Bor (B) .....	0,1 bis 1
Kupfer (Cu) .....	den Rest.

5. Herstellungsverfahren für die Werkzeugelektrode nach Anspruch 1 zur elektroerosiven Bearbeitung, das ein Warmpressen porösen Werkstoff auf Kupferbasis vorsieht, dadurch gekennzeichnet, daß das Pressen in einem Vakuum von  $10^{-2}$  bis  $10^{-4}$  Torr bei einer Temperatur von 650 bis  $975^\circ\text{C}$  unter einem Druck von 50 bis  $110 \text{ kp/cm}^2$  erfolgt.

## B e s c h r e i b u n g

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf die elektro-erosive Bearbeitung und betrifft insbesondere Werkzeug-elektroden zur elektroerosiven Bearbeitung und Herstellungs-5 verfahren für diese.

Die Erfindung kann am erfolgreichsten bei Nachform-Stoß-räummaschinen im Falle der elektroerosiven Bearbeitung von10 schwer bearbeitbaren Werkstoffen, beispielsweise von Hart-legierungen auf Basis von Wolfram- und Titankarbiden ange-wendet werden.

Außerdem kann die Erfindung zur elektroerosiven Bearbei-tung von Stanzwerkzeugen, Preßformen, Gießformen und ande-15 ren Formstücken aus Stahl eingesetzt werden.

Bekanntlich wird die Materialabnahme bei einem Werk-20 stück während der elektroerosiven Bearbeitung durch eine Fackel des bei der elektrischen Entladung verdampfenden Materials der Werkzeugelektrode stark beeinflußt. Den For-schungsergebnissen zufolge sind bis zu 70 % der Material-abnahme bei einem Werkstück durch die Wirkung des Fackel-mechanismus bedingt. Zu seiner Intensivierung wurde vorge-schlagen, die Werkzeugelektrode porös auszuführen. Dann wird25 die Fackel durch die Wirkung von hydrodynamischen Hochtem-peraturstrahlen einer aus den Poren verdampfenden Betriebs-flüssigkeit verstärkt.

Es ist bekannt, daß zur Verschleißverringerung bei der30 elektroerosiven Bearbeitung eine Ablagerung eines Filmes aus Pyrolyseprodukten der Betriebsflüssigkeit und des zu be-arbeitenden Werkstoffes an der Stirnseite der Werkzeugelek-trode von großer Bedeutung ist. Bei Verwendung poröser Elektroden setzt sich der Schutzfilm nicht nur auf deren Stirnseite, sondern auch auf der Ober-fläche der Poren der Werkzeugelektrode ab. Hierbei nimmt35 die Fläche, auf der sich der Film absetzt, um 1 bis 2 Größen-ordnungen zu. Dementsprechend nimmt auch die Energie für die Pyrolyse der in den Poren befindlichen Betriebsflüssig-keit und für die Ablagerung des Schutz-Flüssigkeitsfilmes zu. Damit der erste und der zweite Mechanismus funktionieren, ist

ein Ansaugen der Betriebsflüssigkeit in die Poren aus dem Arbeitsspalt erforderlich, wobei die letzteren offen sein sollen.

Es ist auch eine Werkzeugelektrode zur elektroerosiven 5 Bearbeitung bekannt, die 20 bis 50 Gew.-% Kupfer, 2,5 bis 5 Gew.-% Thoriumdioxid und den Rest Wolfram enthält. Die genannte Werkzeugelektrode wird in zwei Stufen gefertigt. In der ersten Stufe wird durch Pressen einer Preßmasse aus Wolfram unter einem Druck von 1 kp/cm<sup>2</sup> eine porige 10 Werkzeugelektrode hergestellt. In der zweiten Stufe wird sie mit Kupfer bei einer Temperatur von 1150°C in einem Wasserstoffstrom durchtränkt.

Die sich in der ersten Stufe ausbildende porige Struktur eines Wolfram- "Skelettes" wird in der zweiten Stufe bei 15 der Durchtränkung mit Kupfer gefüllt, und die Poren schließen sich. Das Herstellungsverfahren, das in zwei Stufen durchgeführt wird, ist an und für sich ziemlich langwierig. Die Kompliziertheit der Durchtränkung des porigen Wolfram- "Skelettes" mit Kupfer gestattet es nicht, Profilwerkzeug- 20 elektroden zu erhalten. Manche Werkstücke bedürfen einer Nachbearbeitung. Da sich das Wolfram sehr schwer bearbeiten lässt, ist diese Nacharbeit äußerst erschwert. Außerdem wird als eine der Komponenten des Werkzeugelektrodenmaterials das kostspielige Wolfram 25 eingesetzt, was die Rentabilität der elektroerosiven Bearbeitung herabsetzt.

Es ist eine Werkzeugelektrode zur elektroerosiven Bearbeitung bekannt, deren Grundmaterial Kupfer ist und die zur Leistungssteigerung und zur Verschleißverringerung 30 zusätzlich Legierungszuschläge, und zwar Chromdioxid und Bor, beinhaltet.

Nachteilig bei diesem Material ist, daß die Struktur des Materials kompakt ist und die positiven Einflüsse der Porigkeit auf die Mechanismen der Materialabnahme 35 und der Abnutzung der Werkzeugelektrode bei der elektroerosiven Bearbeitung nicht zur Geltung kommen.

Bekannt ist auch eine Werkzeugelektrode zur elektroerosiven Bearbeitung, die aus porösem Werkstoff, beispielswei-

se aus Kupfer, hergestellt ist, in dem die Porosität 15 bis 25 % und die Porengröße 10 bis 40  $\mu\text{m}$  ausmacht.

Dabei ist außer acht gelassen, daß die hohen Fertigungseigenschaften bei der elektroerosiven Bearbeitung 5 nicht durch die gesamte Porigkeit des Elektrodenmaterials von 15 bis 25 %, sondern durch seine offene Porigkeit bestimmt werden. Darin lagen eine starke Streuung und eine Verschlechterung der Fertigungseigenschaften im Zusammenhang mit dem Auftreten einer geschlossenen Porigkeit be- 10 gründet, die auf die Parameter des verwendeten technologischen Prozesses zur Herstellung des Materials zurückzuführen ist. Die geschlossene Porigkeit des Materials führt zu einer lokalen Überhitzung der Arbeitsfläche der Werkzeugelektrode bei der elektroerosiven Bearbeitung und als Folge 15 davon zu einem Geschwindigkeitsabfall bei der Materialabnahme wegen der Bearbeitung in einem Dampf-Gas-Medium sowie zu einer Verschleißzunahme. Darüber hinaus sind die genannten Porengrößen für eine Halbschlicht- und Schlichtbearbei- 20 tung mit  $\text{Ra} \leq 10 \mu\text{m}$  groß, weil die elektroerosive Bearbeitung ein Nachformverfahren ist.

Es ist ein Herstellungsverfahren für eine aus einem porösem Werkstoff, beispielsweise aus Kupfer, durch Warmpressen aus Pulvern im Strom eines Reduktionsgases, beispielsweise von Wasserstoff, bei einer Temperatur von 330 bis  $440^\circ\text{C}$  25 (0,3 bis 0,4 der Schmelztemperatur) unter einem Druck von 20 bis  $50 \text{ kp/cm}^2$  und mit einer anschließenden Temperaturerhöhung beim Reduktionsgas auf 660 bis  $990^\circ\text{C}$  (0,6 bis 0,9 der Schmelztemperatur) erzeugte Werkzeugelektrode bekannt.

Das genannte Verfahren wird durch folgendes gekennzeichnet. Erstens verhindert die Anwendung des Reduktionsgases, beispielsweise des Wasserstoffes, der einen Überdruck erzeugt, den Austritt von Reduktionsprodukten aus dem Material der Werkzeugelektrode und die Erzeugung einer damit zusammenhängenden offenen Porigkeit. Darüber hinaus entsteht eine Explosionsgefahr, und es werden ein spezieller Lagerraum für Gasflaschen und die Organisierung deren zentralisierter Lieferung erforderlich. 30

Zweitens, sind die Temperatur von 330 bis  $440^\circ\text{C}$  und

der Druck von 20 bis 50 kp/cm<sup>2</sup> für eine vollständige Kupferreduktion aus den Oxyden beim Pressen unzureichend, und außerdem wird die Werkzeugelektrode schlecht oder überhaupt nicht auf die ganze Tiefe gepreßt, und ihr Material erreicht die erforderliche Dichte (Porigkeit) nicht. Der Wert der offenen Porigkeit überschreitet hierbei die Optimalwerte (10 bis 15 %), was in entsprechender Weise schletere physikalisch-mechanische und elektroerosive Eigenschaften (Fertigungseigenschaften) der hergestellten Werkzeugelektrode zur Folge hat.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Werkzeugelektrode zur elektroerosiven Bearbeitung und ein Herstellungsverfahren für diese zu schaffen, die dank ihrer physikalisch-mechanischen Eigenschaften und deren Herstellungstechnologie bei der Halbschlicht- und Schlichtbearbeitung eine Verringerung des Verschleißes der Werkzeugelektrode unter Geschwindigkeits erhöhung der Materialabnahme vom Arbeitsstück und unter Verringerung der Rauheit der bearbeiteten Fläche gewährleisten.

Die gestellte Aufgabe wird durch eine Werkzeugelektrode zur elektroerosiven Bearbeitung gelöst, die aus einem porigen Werkstoff auf Kupferbasis hergestellt ist, dessen Material erfindungsgemäß eine offene Porigkeit von 10 bis 15 % und eine Porengröße von 2 bis 10  $\mu$ m aufweist.

Die offenen Poren gestatten es, den Effekt einer vollständigen Evakuierung von Schmelzprodukten aus einer Kolkung an der Werkstückelektrode bei Einwirken von gasdynamischen Hochtemperaturstrahlen (Fackeln) der aus den Poren verdampfenden Betriebsflüssigkeit zu realisieren. Dadurch, daß die Poren offen sind (d.h. mit den benachbarten Poren kommunizieren und in die Oberfläche der Werkzeugelektrode münden), werden sie durch neue Portionen der Betriebsflüssigkeit ständig gespeist. Dies führt zu einer Leistungssteigerung um das Zwei- bis Mehrfache. Zugleich damit wird auf Grund einer Pyrolyse der Betriebsflüssigkeit in den Poren bzw. an deren Wänden ein Schutzfilm abgeschieden. Ein ununterbrochenes Ansaugen der Betriebsflüs-

sigkeit durch die offenen Poren gestattet es, den Schutzfilm wiederherzustellen. Dies setzt die Abnutzung der porigen Werkzeugelektrode sprunghaft herab.

5 Eine offene Porigkeit unterhalb von 10 % ist unzureichend und läßt nicht die obengenannten Vorteile sowohl hinsichtlich der Geschwindigkeit der Materialabnahme als auch in Bezug auf den Verschleiß realisieren. Eine Vergrößerung der offenen Porigkeit des Werkstoffes über 15 % hat eine Verschlechterung der physikalisch-mechanischen und also 10 15 auch der Fertigungseigenschaften (der elektroerosiven Eigenschaften) zur Folge.

15 Eine geschlossene Porigkeit an der Werkzeugelektrode führt zur Entstehung von Herden einer lokalen Überhitzung auf den gegebenen Abschnitten, die zu einer Leistungsminderung bei der Bearbeitung wegen Entladungen im Gas-Dampf-Medium führen.

20 Da die elektroerosive Bearbeitung ein Kopierverfahren darstellt, gestattet es die Porengröße unterhalb von 10  $\mu\text{m}$ , bei der Halbschlicht- und Schlichtbearbeitung eine Rauheit der bearbeiteten Fläche von  $\text{Ra} < 10 \mu\text{m}$  zu erzielen. Wie die zahlreichen Versuche gezeigt haben, werden Poren einer Größe unterhalb von 2  $\mu\text{m}$  infolge eines großen hydraulischen Widerstandes mit der Betriebsflüssigkeit nicht gefüllt. Hierbei kommt es nicht zur Realisierung der 25 Vorteile der porösen Struktur der Werkzeugelektrode (Steigerung der Bearbeitungsleistung und der Standzeit der Werkzeugelektrode).

30 Zweckmäßig ist, daß das Material der Werkzeugelektrode außer dem Kupfer fein verteilte Zugaben aus Metalloxiden in Verbindung mit Bor enthält.

35 Die fein verteilten Zugaben zum Material der Werkzeugelektrode erbringen in Verbindung mit Bor einen Abschirmeffekt während der elektroerosiven Entladung. Überdies gestatten die Zersetzung des Metalloxides und die Entsendung negativer Ionen in den Entladekanal, Ionen zu neutralisieren, die die Werkzeugelektrode beschließen.

Die besten Resultate werden in dem Fall erzielt, wo als Oxid Chromoxid ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) eingesetzt wird.

Es ist zweckmäßig, daß das Material der Werkzeugelektrode (in Gew.-%) enthält:

	Chromoxid ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) .....	2 bis 10
	Bor (B) .....	0,1 bis 1
5	Kupfer (Cu) .....	den Rest.

Das Vorhandensein von Chromoxid ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) in einer Menge unterhalb von 2 % ergibt die obengenannten Resultate nicht, während bei einer Überschreitung von 10 % eine Leistungsminderung und eine Erhöhung des Verschleißes der Werkzeugelektrode auf Grund einer Verschlechterung von integralen wärmephysikalischen Eigenschaften ihres Materials eintreten.

Die gestellte Aufgabe wird auch durch ein Verfahren zur Herstellung der Werkzeugelektrode zur elektroerosiven Bearbeitung aus einem porösem Kupferwerkstoff durch dessen Warmpressen gelöst, bei dem das Pressen erfindungsgemäß in einem Vakuum von  $10^{-2}$  bis  $10^{-4}$  Torr bei einer Temperatur von 650 bis  $975^{\circ}\text{C}$  unter einem Druck von 50 bis  $110 \text{ kp/cm}^2$  erfolgt.

Das Warmpressen der Werkzeugelektroden im Vakuum unterhalb von  $10^{-2}$  Torr führt dazu, daß keine Reduzierung der Oxidschichten im Material der Werkzeugelektrode stattfindet. Ein Vakuum oberhalb der oberen Grenze führt zu keiner Verbesserung der Eigenschaften der Werkzeugelektrode, verlängert aber, kompliziert und verteuert das Herstellungsverfahren.

Bei einer Temperaturerhöhung über die obere Grenze erfolgen eine große Abkühlschrumpfung des Materials, eine Schließung der Poren und es kommt nicht zur Erzielung einer offenen Porigkeit von 10 bis 15 % und einer geschlossenen Porigkeit unterhalb von 5 %. Bei einer Temperaturniedrigung unter die untere Grenze erfolgt keine vollständige Kupferreduktion aus den Oxiden. Die Werkzeugelektrode wird auf die ganze Tiefe schlecht oder überhaupt nicht gepreßt, und das Material der Werkzeugelektrode erreicht die erforderliche Dichte nicht.

Beim Pressen der Werkzeugelektrode bei einem Druck

unterhalb von 50 kp/cm<sup>2</sup> und bei einer vorgegebenen Temperaturführung übersteigt der Wert der offenen Porigkeit des Materials die Vorgabewerte (10 bis 15 %). Eine Erhöhung des Preßdrucks im vorgegebenen Temperaturbereich über

5 110 kp/cm<sup>2</sup> führt dazu, daß die einzelnen Abschnitte der Werkzeugelektrode übermäßig gepreßt werden und eine offene Porigkeit unter 10 % aufweisen (die Struktur der Proben liegt nahe an einer kompakten Struktur mit einer geringen Menge geschlossener Poren).

10 Im folgenden wird die vorliegende Erfindung durch eingehende Beschreibung eines konkreten Ausführungsbeispiels derselben erläutert.

15 Es wird eine Werkzeugelektrode zur elektroerosiven Bearbeitung vorgeschlagen, die aus einem porösem Werkstoff auf Kupferbasis hergestellt ist.

Gemäß der Erfindung ist das Material durch eine offene Porigkeit von 10 bis 15 % gekennzeichnet, wobei die offenen Porengrößen 2 bis 10  $\mu\text{m}$  betragen.

Außer dem Kupfer enthält das Material der Werkzeug-

20 elektrode fein verteilte Zugaben aus Metalloxiden in Verbindung mit Bor. Als Metalloxid enthält das Material Chromoxid ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ). Hierbei weist das Material der Werkzeugelektrode folgende chemische Zusammensetzung (in Gew.-%) auf:

25 Chromoxid ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) ..... 2 bis 10  
 Bor (B) ..... 0,1 bis 1  
 Kupfer (Cu) ..... den Rest.

Das die genannte Porigkeit und Zusammensetzung aufweisende Material der Werkzeugelektrode sichert einen geringen Verschleiß der Werkzeugelektrode, eine hohe Geschwindigkeit der Materialabnahme beim Arbeitsstück und eine Verringerung der Rauheit der zu bearbeitenden Oberfläche.

30 35 Es wird ein Herstellungsverfahren für die Werkzeugelektrode zu elektroerosiven Bearbeitung vorgeschlagen.

Als Material für die genannte Werkzeugelektrode wird ein poröser Werkstoff auf Kupferbasis genommen, der einem Warmpressen unterzogen wird.

Gemäß der Erfindung wird das Pressen in einem Vakuum von  $10^{-2}$  bis  $10^{-4}$  Torr bei einer Temperatur von 650

bis  $975^{\circ}\text{C}$  unter einem Druck von 50 bis  $110 \text{ kp/cm}^2$  durchgeführt.

Zum besseren Verständnis der Erfindung werden nachfolgend konkrete Ausführungsbeispiele aufgeführt.

5 Es wurde ein Werkstoff auf Kupferbasis genommen, der 3 %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , 1 % B, 94 % C mit einer offenen Porosität von 10, 12, 15 % und mit einer Porengröße von 2,0; 5; 10 enthält; das Material der genannten Zusammensetzung wurde einem Warmpressen bei einer Temperatur von  $900^{\circ}\text{C}$  unter einem Druck von  $96 \text{ kp/cm}^2$  in einem Vakuum von  $10^{-3} \text{ Torr}$  unterzogen. Die erhaltenen Proben (die Probenfläche beträgt 500  $\text{mm}^2$ , das zu bearbeitende Material ist Stahl 45 - Tabelle 1 - und die Hartlegierung - Tabelle 2) wurden nach einer den auf diesem Gebiet tätigen Fachleuten bekannten 10 Methodik im Testbetrieb der elektroerosiven Bearbeitung auf einer Nachform-Stoßräummaschine mit einem elektrohydraulischen Antrieb, versehen mit einem Impulsgenerator, geprüft. Die Prüfungen wurden bei folgenden Betriebsverhältnissen durchgeführt: für den Stahl (Tabelle 1) sind die Frequenz 15  $f = 88 \text{ kHz}$ , der Arbeitsstrom  $I = 16 \text{ A}$ , die Polung umgekehrt (Werkzeugelektrode ist positiv); für die Hartlegierung (Tabelle 2) sind die Frequenz  $f = 88 \text{ kHz}$ , der Arbeitsstrom  $I = 11 \text{ A}$ , die Polung normal (Werkzeugelektrode ist negativ). Die Prüfergebnisse sind in den Tabellen 1 und 2 zusammenge- 20 25 faßt.

Tabelle 1

Probe Nr.	Zusammen- setzung	(offene) Porigkeit, (%)	Porengröße, ( $\mu$ m)	
	1	2	3	4
1	Cu - 94% Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 3% B - 1%	10	10	
2	dto.	15	10	
10	3	dto.	12	10
	4	dto.	12	5
	5	dto.	12	2
15	6 be- kann- tes Material	Kupfer mit der Gesamtporigkeit von 15%	nicht ge- messen	30 bis 40

Tabelle 1 (Forts.)

Probe Nr.	Abnahmeger- schwindigkeit, $\frac{\text{mm}}{\text{min. A}}$	relativer Verschleiss, (%)	Oberflächen- rauheit, ( $\mu$ m)
	1	6	7
1	5		
1	7,8	18,5	3
2	8,0	22,1	3
25	3	15,0	3
	4	24,2	3
	5	25	3
	6	38,2	4

Tabelle 2

Probe Nr.	Zusammen- setzung	(offene) Porigkeit, (%)	Porengrösse ( $\mu$ m)	
5	1	2	3	4
1	Cu - 94% Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 5% B <sub>4</sub> to.	10 -1%	10	10
10	3	dto.	12	10
	4	dto.	12	5
	5	dto.	12	2,0
15	6 be- kann- tes Mate- rial	Kupfer +3% Bornitrid	nicht ge- messen	nicht ge- messen

Tabelle 2 (Forts.)

Probe Nr.	Abnahmeger- schwindigkeit, mm min. A	relativer Verschleiss, (%)	Oberflächen- rauheit, ( $\mu$ m)	
20	1	5	6	7
25	1	2,6	45,6	2,0
	2	2,5	50,2	2,0
	3	3,0	38,0	2,0
	4	2,3	50,3	2,0
	5	2,0	51,0	2,0
	6	1,9	50,1	2,0